

ЭПТ 2015



ACED 2015

УДК 621.3

1.4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ АСИНХРОННОГО И СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

EXPERIMENTAL COMPARISON OF INDUCTION AND SYNCHRONOUS RELUCTANCE ELECTRIC DRIVE PERFORMANCE

Дмитриевский Владимир Александрович, канд. техн. наук, доцент каф. «Электротехника и электротехнологические системы» Уральского федерального университета, научный сотрудник ООО «ЭМАШ», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Практ Владимир Алексеевич, канд. техн. наук, доцент каф. «Электротехника и электротехнологические системы» Уральского федерального университета, научный сотрудник ООО «ЭМАШ», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: emf2010@mail.ru, Тел.: 83433754564.

Казакбаев Вадим Маратович, аспирант каф. «Электротехника и электротехнологические системы» Уральского федерального университета, инженер ООО «ЭМАШ», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Поздеев Андрей Сергеевич, аспирант каф. «Электротехника и электротехнологические системы» Уральского федерального университета, инженер ООО «ЭМАШ», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Ошурбеков Сафарбек Хосабекович, инженер ООО «ЭМАШ», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Михалицын Александр Федорович, инженер ООО «ЭМАШ», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Vladimir A. Dmitrievskii, Cand. Sc., Ural Federal University, EMACH Ltd., research engineer, Russia, 620002, Yekaterinburg, Mira Street, 19.

Vladimir A. Prakht, Cand. Sc., Ural Federal University, EMACH Ltd., research engineer, Russia, 620002, Yekaterinburg, Mira Street, 19, e-mail: emf2010@mail.ru, Tel.: 83433754564.

Vadim V. Kazakbaev, postgraduate student, Ural Federal University, EMACH Ltd., engineer, Russia, 620002, Yekaterinburg, Mira Street, 19.

Andrey S. Pozdeev, postgraduate student, Ural Federal University, EMACH Ltd., engineer, Russia, 620002, Yekaterinburg, Mira Street, 19.

Safarbek H. Oshurbekov, EMACH Ltd., engineer, Russia, 620002, Yekaterinburg, Mira Street, 19.

Alexander F. Mikhalitysyn, EMACH Ltd., engineer, Russia, 620002, Yekaterinburg, Mira Street, 19.

Аннотация: Работа имеет целью экспериментальное сравнение конструктивных и энергетических характеристик современных асинхронных двигателей (АД) отечественного и зарубежного производства (ABB) и разработанного авторами синхронного реактивного двигателя (СРД) в составе частотно-регулируемого электропривода. Рассматриваемый в работе опытный образец двигателя спроектирован на основе статора АД. Результаты работы показывают, что применение СРД позволяет значительно повысить КПД частотно-регулируемого привода. При этом СРД может соответствовать самому высокому классу энергоэффективности IE4. В то же время конструкция двигателя остается простой и дешевой.

Abstract: The work is aimed at experimental comparison of constructive and energy characteristics of modern asynchronous electric motors of Russian and European manufacturers (ABB Ltd.) and the synchronous reluctance motor developed by the authors as a part of variable frequency drive. The prototype motor was designed based on the stator of an induction motor. The issues show that it is possible to significantly improve the efficiency of the variable frequency drive by use of a synchronous reluctance motor. The motor can correspond to the highest energy efficiency class IE4. At the same time the motor design is simple and cheap.

Ключевые слова: асинхронный двигатель; синхронный реактивный двигатель; частотно-регулируемый электропривод; энергоэффективность.

Key words: induction motor, synchronous reluctance motor, variable-frequency electric drive, efficient energy use.

ВВЕДЕНИЕ

К началу XXI века, на фоне общей тенденции к экономии энергоресурсов, стала важной проблема улучшения энергоэффективности ЭП. Энергопотребление и вредное воздействие на окружающую среду могут быть существенно снижены с помощью применения двигателей и преобразователей частоты с высокими классами энергоэффективности [1,2].

Наиболее используемым типом двигателя на сегодняшний день является асинхронный двигатель (АД). Однако в настоящее время АД уже достигли предела своего конструктивного и технологического совершенствования. Дальнейшее улучшение КПД этих двигателей возможно лишь экстенсивными методами: использование большего количества меди и стали, а также применение медной беличьей клетки ротора [3]. Основным недостатком таких решений является увеличение размеров двигателя и его стоимости. Более того, использование медной беличьей клетки ротора приводит к значительному усложнению и удорожанию технологии производства из-за высокой температуры плавления меди [3].

Одним из альтернативных путей для получения электродвигателей высокого класса энергоэффективности (IE3 и IE4), не требующей значительного усложнения технологии производства, избыточного увеличения размеров и массы, а также использования дорогих постоянных магнитов (ПМ) является использование синхронного реактивного двигателя (СРД). СРД не имеет электрических потерь в обмотке ротора, и может соответствовать самым высоким классам энергоэффективности [3].

В настоящее время ведущие европейские производители предлагают СРД в комплекте с преобразователем частоты (ПЧ) для использования в приложениях, где применение частотно-регулируемого двигателя дает значительный эффект энергосбережения (например, приложения с «вентиляторной» нагрузкой и привод лифтов и подъемников). Такие приложения составляют более 70 % от всех приложений, где используется регулируемый электропривод (ЭП) [4]. Международным концерном ABB производятся две серии СРД для привода насосов и вентиляторов: двигатели класса IE4, а также малогабаритные двигатели класса IE3. Планируется серийное изготовление двигателей класса IE5. Также энергоэффективные СРД класса IE4 применяют, в составе своих

насосных установок, немецкая фирма «Klein, Schanzlin & Becker» (KSB).

От других энергоэффективных двигателей (синхронные двигатели с ПМ) СРД выгодно отличается простотой конструкции электромеханического преобразователя, отсутствием в конструкции машины дорогостоящих и, существенно усложняющих изготовление, обслуживание и ремонт, постоянных магнитов, и максимальной унификацией технологии производства такого двигателя с производством АД.

В данной работе представлено экспериментальное сравнение рабочих свойств стандартной конфигурации современного частотно регулируемого асинхронного привода и разработанного авторами синхронного реактивного электропривода.

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СРД

Как и в АД в СРД используется конструкция статора с трехфазной вращающейся обмоткой. В то же время, конструкция ротора значительно отличается. Ротор СРД не имеет обмотки или ПМ и состоит только из листов шихтованной электротехнической стали. Конфигурация листов обеспечивает максимальное различие индуктивностей синхронной машины по осям d и q .

Для того чтобы правильно управлять СРД, обеспечивая устойчивые и энергоэффективные режимы работы, необходимо использовать ПЧ, формирующий вектор тока машины с учетом обратной связи по положению ротора (на данный момент существуют как решения, использующие датчик положения, так и бездатчиковые схемы управления, вычисляющие положение на основе разницы индуктивностей обмотки по осям d и q). Бездатчиковые схемы управления лучше подходят для приложений с постоянной «спокойной» нагрузкой. Использование датчика положения вызывает некоторое усложнение ЭП. С другой стороны, такое решение способно обеспечить высокие динамические свойства и высокую точность регулирования ЭП. Рассматриваемый в данной работе электропривод для обеспечения обратной связи использует оптический инкрементальный энкодер. Характеристики двигателя при использовании бездатчиковой системы управления, разрабатываемой авторами, будут представлены в последующих работах.

Для достижения высоких рабочих свойств СРД изначально проектируется для питания от ПЧ, что

позволяет исключить из конструкции пусковую обмотку на роторе. Это делает технологию производства ротора намного менее сложной и затратной, чем для АД (нет необходимости

заливки ротора алюминием или медью) и двигателей с ПМ.

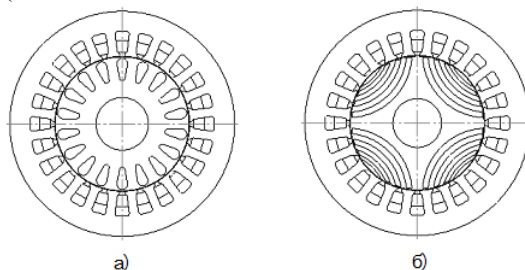


Рис. 1. Конструкция магнитной системы двигателей сравниваемых ЭП а) АД б) СРД

Ротор СРД имеет более надежную и прочную конструкцию, чем у двигателя с ПМ. С другой стороны, отсутствие потерь в обмотке ротора означает меньшую величину перегрева СРД при той же нагрузке, в сравнение с АД: в частности меньшие величины перегрева обмотки статора и подшипниковых узлов [3]. Отсутствие короткозамкнутой обмотки в роторе и магнитов приводит к уменьшению момента инерции ротора, что является достоинством в высоко динамичных приложениях.

В качестве основного недостатка СРД можно назвать, некоторое снижение коэффициента мощности, в сравнение с АД, вследствие относительно высокого значения намагничивающего тока реактивного двигателя. Это ведет к тому, что ПЧ для питания СРД должен иметь несколько больший номинал по току при той же мощности. Однако со стороны сети ЭП с СРД будет иметь те же величины токопотребления и коэффициента мощности, что и асинхронный привод.

Двигатель описываемого в работе СРД привода спроектирован на базе статора асинхронного двигателя АИМЛ 71 А2, 750 Вт, 2820 об/мин (рис. 1а). Магнитопровод статора был оставлен без изменений. Пакет ротора был собран на валу двигателя АИМЛ 71 А2 из листов электротехнической стали той же марки, что используется в статоре АД (рис. 1б). Магнитная конструкция ротора была оптимизирована с учетом конструкции статора. Длина пакета ротора была выбрана равной длине пакета статора.

В таблице 1 приведены для сравнения конструктивные и массогабаритные характеристики двигателя АИМЛ 71 А2 и разработанного СРД. Кроме того, даны также характеристики двигателя М3АА80В2 (производитель АВВ), который имеет те же номиналы и паспортный класс энергоэффективности IE2.

Таблица 1.

Конструктивные параметры двигателей

Двигатель	Масса фактическая, кг	Длина пакета статора, мм	Внешний диаметр магнитопровода статора, мм
АИМЛ 71 А2	11,6	72	120
М3АА80В2	9,4	66	125
Образец СРД	10,5	72	120

Нужно заметить, что АИМЛ 71 А2 и СРД, изготовленный на его базе, имеют повышенную массу корпуса, из-за взрывозащищенного исполнения двигателей АИМЛ. В то время как двигатель М3АА80В2 фирмы АВВ имеет общепромышленное исполнение и более легкий корпус. При изготовлении того же образца СРД в общепромышленном корпусе масса будет снижена еще на 2-3 кг.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Для того чтобы провести сравнение рабочих и энергетических свойств двигателей был разработан испытательный стенд, описанный в данном разделе. Устройство испытательной установки показано на рис. 2. Для питания испытуемых двигателей переменного тока в стенде используется универсальный векторный ПЧ «Emerson Unidrive M 701-034 00031 А».

На валу испытуемого двигателя, со стороны вентилятора, устанавливается инкрементальный энкодер EH3-25LG8845, сигналы с которого поступают на ПЧ для вычисления скорости и положения вала двигателя. Со стороны выходного конца вала двигатель соединяется с балансирным индукционным динамометром ИД-Б-14 ($\pm 0,05 \text{ Н*м}$), который позволяет измерять

момент на валу двигателя. Обмотка динамометра запитывается постоянным током. Для измерения скорости используется фототахометр DT-2234A (точность ± 1 об/мин). Для расчета токов, напряжений и активной мощности используются

датчики тока (ДТ) и напряжения (ДН) на выходе ПЧ. Используются датчики LEM (LV 25-P/SP-5, HX 06-P, HX 02-P). Сигналы с ДН и ДТ записываются с помощью АЦП QMBox20-16.

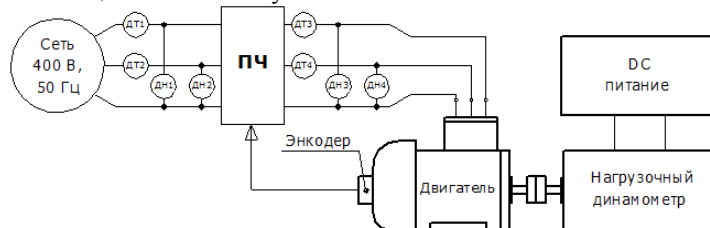


Рис. 2. Схема испытательной установки

Для оценки КПД и других рабочих свойств двигателя с помощью данной установки были проведены испытания нагрузки с измерением электрической мощности на выходе ПЧ, а также механической мощности на валу двигателя, согласно [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для получения экспериментальной оценки эффективности использования разработанного СРД в частотно-регулируемом приводе был проведен опыт нагрузки до номинального режима для электродвигателей, указанных в табл. 1. Все электродвигатели в ходе опыта получали питание от преобразователя «Unidrive M 701-034 00031 А».

На рис. 3 приведены сравнительные графики КПД исследуемых двигателей, полученные в ходе эксперимента. Из графиков видно, что энергетические свойства обоих АД близки и их КПД номинальном режиме (750 Вт) удовлетворяет классу IE2 (выше, чем 77,4 %, но ниже чем 80,7 %, необходимые для класса IE 3), тогда как КПД СРД соответствует более высокому классу IE4 (83,5 %). КПД всего привода в случае применения СРД также оказывается более высоким.

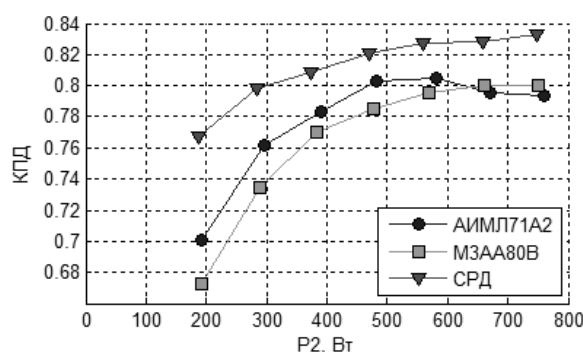


Рис. 3. Экспериментальные зависимости КПД двигателей от механической мощности на валу двигателя

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье была приведена экспериментальная оценка энергоэффективности двух современных АД и экспериментального СРД, разработанного авторами, при питании от одного и того же преобразователя частоты.

На основе данных испытаний показано, что использование простого и недорогого в изготовлении СРД в приводе переменного тока способно значительно повысить энергоэффективность привода со стандартным ПЧ, без увеличения массогабаритных параметров двигателя.

В то же время, на основе полученных данных можно заключить, что использование СРД требует более точного и обоснованного выбора параметров управления ЭП для достижения максимальной энергоэффективности. В дальнейшем планируется работы по оптимизации параметров системы управления СРД.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. IEC 60034-30-1, Edition 1.0: Rotating Electrical Machines – Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code), Geneva, Switzerland, March 2014.
2. EN 50598-2:2014, Ecodesign for power drive systems, motor starters, power electronics & their driven applications. Energy efficiency indicators for power drive systems and motor starters.
3. J. Estima, A. J. M. Cardoso Efficiency Analysis of Synchronous Reluctance Motors, in International Conference on Engineering – ICEUBI, 27-29 November 2013.
4. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. – Москва: Академия, 2004. – 265 с.
5. IEC 60034-2-3 ed1.0, Rotating electrical machines - Part 2-3: Specific test methods for determining losses and efficiency of converter-fed AC induction motor.